

**PCT**  
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
 Internationales Büro  
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



<p>(51) Internationale Patentklassifikation 7 : <b>F01D 5/28</b></p>	<p><b>A1</b></p>	<p>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 00/53896</b></p> <p>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 14. September 2000 (14.09.00)</p>
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE00/00734</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 9. März 2000 (09.03.00)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 199 10 380,1      9. März 1999 (09.03.99)      DE</p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und</p> <p>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): KANNEFASS, Ralf [DE/DE]; Eggartenstrasse 28, D-91341 Röttenbach (DE). TACKE, Markus [DE/DE]; Ortliebweg 13, D-91058 Erlangen (DE).</p> <p>(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München (DE).</p>	<p>(81) Bestimmungsstaaten: CA, CN, IN, JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p><b>Veröffentlicht</b>  <i>Mit internationalem Recherchenbericht.          Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i></p>	
<p>(54) Title: TURBINE BLADE AND METHOD FOR PRODUCING A TURBINE BLADE</p> <p>(54) Bezeichnung: TURBINENSCHAUFEL UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER TURBINENSCHAUFEL</p>		
<p>(57) Abstract</p> <p>The invention relates to a turbine blade (1) which extends along a principal axis (2) from a bottom area (4) via a blade area (6) that can be subjected to hot gas to a top area (8). The turbine blade (1) is essentially formed of carbon that is reinforced by carbon fibres. At least the blade area (6) is provided with a blade outer wall (10) with carbon that is reinforced by carbon fibres. Said wall (10) is surrounded by a protective layer (18). The invention also relates to a method for producing a turbine blade (1).</p>		

(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel (1), welche sich entlang einer Hauptachse (2) von einem Fußbereich (4) über einen heißgasbeaufschlagbaren Schaufelblattbereich (6) zu einem Kopfbereich (8) erstreckt. Die Turbinenschaufel (1) ist im wesentlichen aus kohlefaserverstärktem Kohlenstoff gebildet, wobei zumindest der Schaufelblattbereich (6) eine Schaufelaußenwand (10) mit kohlefaserverstärktem Kohlenstoff aufweist, die von einer Schutzschicht (18) umgeben ist. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel (1).

**LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauritanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LJ	Litauenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

## Beschreibung

Turbinenschaufel und Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel

5

Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel einer Turbine, insbesondere einer Gas- oder Dampfturbine. Die Turbinenschaufel erstreckt sich entlang einer Hauptachse von einem Fußbereich über einen Schaufelblattbereich zu einem Kopfbereich.

10

Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel sowie eine Turbinenanlage, insbesondere eine Gasturbinenanlage.

15

Der Wirkungsgrad einer Gasturbinenanlage ist maßgeblich bestimmt durch die Turbineneintrittstemperatur des Arbeitsmediums, welches in der Gasturbine entspannt wird. Daher werden möglichst hohe Temperaturen angestrebt. Die Turbinenschaufeln werden aber aufgrund der hohen Temperaturen stark thermisch und aufgrund der hohen Strömungsgeschwindigkeit des Arbeitsmediums oder Heißgases stark mechanisch belastet. Üblicherweise werden für die Turbinenschaufeln gußtechnisch hergestellte Schaufeln verwendet. Dabei handelt es sich um einen Feinguß - teilweise gerichtet erstarrt oder als Einkristall gezogen. Eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Herstellung von Gußstücken, insbesondere Gasturbinenschaufeln, mit gerichtet erstarrten Gefüge ist in der DE-AS 22 42 111 beschrieben. Die Turbinenschaufel wird hierbei als Vollmaterial-schaufel überwiegend aus Nickellegierungen in einkristalliner Form gegossen. Eine gekühlte Gasturbinenschaufel geht aus der US-PS 5,419,039 hervor. Die darin offenbarte Turbinenschaufel ist ebenfalls als ein Gußstück ausgeführt bzw. aus zwei Gußstücken zusammengesetzt.

35

Die Turbinenschaufeln werden üblicherweise bei Temperaturen nahe bei der für den Werkstoff der Turbinenschaufel maximal zulässigen Temperatur, der sogenannten Belastungsgrenze, betrieben. Beispielsweise beträgt die Turbineneintrittstempera-

tur von Gasturbinen aufgrund der Temperaturgrenzen der für die Turbinenschaufel eingesetzten Werkstoffe ca. 1500 bis 1600 K, wobei in der Regel bereits eine Kühlung der Schaufeloberflächen vorgenommen wird. Eine Erhöhung der Turbineneintrittstemperatur bedarf einer größeren Kühlluftmenge, wodurch der Wirkungsgrad der Gasturbine und damit auch der einer Gesamtanlage, insbesondere einer Gas- und Dampfturbinenanlage, verschlechtert ist. Dies ist darin begründet, daß die Kühlluft üblicherweise einem der Gasturbine vorgeschalteten Verdichter entnommen wird. Diese komprimierte Kühlluft steht somit für die Verbrennung und zur Verrichtung von Arbeit nicht mehr zur Verfügung. Darüber hinaus ist aufgrund der Wärmeausdehnung der Turbinenschaufeln ein Spalt erforderlich, der vor allem im Teillastbereich der Gasturbine zu sogenannten Spaltverlusten führt.

Aufgabe der Erfindung ist es daher eine Turbinenschaufel anzugeben, die besonders günstige Eigenschaften hinsichtlich einer hohen mechanischen Beständigkeit und Temperaturfestigkeit aufweist. Eine weitere Aufgabe besteht darin, ein Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel anzugeben.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Turbinenschaufel, welche sich entlang einer Hauptachse von einem Fußbereich über einen heißgasbeaufschlagbaren Schaufelblattbereich zu einem Kopfbereich erstreckt und im wesentlichen aus kohlefaserverstärktem Kohlenstoff gebildet ist, wobei zumindest der Schaufelblattbereich eine Schaufelaußenwand mit kohlefaserverstärktem Kohlenstoff aufweist, die von einer Schutzschicht umgeben ist.

Durch den Einsatz von kohlefaserverstärktem Kohlenstoff als Werkstoff für die Turbinenschaufel weist dieser eine besonders hohe thermische und mechanische Stabilität auf. Insbesondere sind gegenüber herkömmlichen einkristallinen Turbinenschaufeln höhere Turbineneintrittstemperaturen bis hin zu 2800 K ermöglicht. Es sind bevorzugt auch bei großen Wanddik-

kenunterschieden zwischen dem Schaufelblattbereich und dem massiven Fußbereich oder am Fußbereich bzw. am Kopfbereich in allen Schaufelbereichen die gleiche Werkstoffstruktur und damit im wesentlichen die gleichen physikalischen Eigenschaften erreicht.

Aufgrund der besonders hohen Temperaturbeständigkeit des für die Turbinenschaufel eingesetzten Werkstoffs ist eine Kühlung der Turbinenschaufel nicht mehr erforderlich, wodurch ein besonders hoher Wirkungsgrad der Turbinenanlage erreicht wird. Für eine besonders gute Oxidationsbeständigkeit des kohlefaserverstärkten Kohlenstoffs ist die Schutzschicht vorgesehen, die zumindest die im Betrieb der Turbinenanlage heißgasbeaufschlagte Schaufelaußenwand umgibt.

Zweckmäßigerweise ist als Schutzschicht eine Keramikschiicht vorgesehen. Für die als reine Oberflächenschicht ausgeführte Keramikschiicht eignet sich insbesondere eine Schicht aus Siliziumcarbid. Der Einsatz von Siliziumcarbid bewirkt, daß die Oberfläche der Turbinenschaufel durch Reaktion des Siliziums mit dem Kohlenstoff mit einer dünnen Siliziumcarbid-Schiicht versiegelt und dadurch sehr wirkungsvoll geschützt wird. Siliziumcarbid eignet sich insbesondere aufgrund seiner besonders oxidationshemmenden Eigenschaft als Schutzschicht für die aus kohlefaserverstärkten Kohlenstoff aufgebaute Turbinenschaufel.

Zweckmäßigerweise weist die Keramikschiicht einen Minimalwert in ihrer Schichtdicke zwischen etwa 0,5 und 5 mm auf. In Abhängigkeit vom Einbauort der Turbinenschaufel, insbesondere von der dort herrschenden Temperaturbelastung, kann die Keramikschiicht auch als eine Multilayerschiicht ausgeführt sein.

In einer weiteren besonders vorteilhaften Ausgestaltung ist die Schutzschicht alternativ oder zusätzlich durch einen gasförmigen Schutzfilm gegeben, der von einem Schutzgas gebildet ist. Vorteilhafterweise ist zumindest im Schaufelblattbereich

eine Zuführung für das Schutzgas vorgesehen, die von der Schaufelinnenwand umgeben ist. Der durch die Schaufelinnenwand gebildete Hohlraum ermöglicht ein besonders einfaches Zuführen des Schutzgases.

5

Zur Verhinderung der Oxidation des kohlefaserverstärkten Kohlenstoffs, d.h. des Grundwerkstoffs der Turbinenschaufel, ist als Schutzgas vorteilhafterweise Erdgas, Wasserdampf oder Inertgas vorgesehen. Als Inertgas wird beispielsweise Abgas, Stickstoff oder ein Edelgas eingesetzt. Durch die Verwendung des Schutzgases ist gasdynamisch begünstigt eine besonders gleichmäßige Verteilung auf der Schaufeloberfläche gewährleistet. Die besonders guten Strömungseigenschaften des Schutzgases ermöglichen somit die Bildung eines geschlossenen und flächendeckenden Schutzfilms auf der Schaufeloberfläche.

Zur Verteilung des Schutzgases auf der Oberfläche der Schaufelaußenwand ist die Turbinenschaufel vorzugsweise mindestens im Schaufelblattbereich zweischalig ausgeführt. Beispielsweise kann die Wand der Turbinenschaufel doppelwandig ausgeführt sein - mit einer Schaufelinnenwand, die die Zuführung umgibt, und einer entlang der Schaufelinnenwand sich erstreckenden Schaufelaußenwand. Zwischen der Schaufelaußenwand und der Schaufelinnenwand sind zweckmäßigerweise eine Mehrzahl von Hohlräumen gebildet, die jeweils über mindestens einen zugehörigen Einlaß mit der Zuführung strömungstechnisch verbunden sind. In vorteilhafter Ausgestaltung sind zur Bildung der Hohlräume eine Mehrzahl von Abstandshaltern rasterartig angeordnet. Zur Reduzierung des Gewichts der Turbinenschaufel sind zweckmäßigerweise die Abstandshalter aus kohlefaserverstärkten Kohlenstoff hergestellt. Durch die rasterartige Anordnung der Abstandshalter ist eine besonders wirksame Durchströmung des Schutzgases in den Hohlräumen über eine lange Wegstrecke ermöglicht.

35

Vorzugsweise sind in der Schaufelaußenwand eine Mehrzahl von Abführungen vorgesehen, die das Schutzgas aus jedem Hohlraum

- nach außen führen. Insbesondere sind die Zuführungen sowie Abführungen hinsichtlich der Anzahl und der Größe derart gewählt, daß die Schaufelaußenwand von dem Schutzgas umströmt wird. Das Schutzgas wird demzufolge in einem offenen Schutz-
- 5 kreis durch die Turbinenschaufel hindurch geführt. Das Schutzgas strömt dabei über die Abführungen aus den Hohlräumen an die Schaufelaußenwand aus und bildet einen Schutzfilm an der dem Heißgas aussetzbaren Oberfläche der Schaufelaußenwand (vergleichbar mit der sogenannten Filmkühlung). Die Ab-
- 10 führungen sowie die Zuführungen sind vorzugsweise als eine Bohrung oder mehrere Bohrungen ausgeführt. Diese können beispielsweise trichterförmig erweitert sein. Durch einen solchen spitzen Winkel wird die Ausbildung eines Films auf der Oberfläche der Schaufelaußenwand besonders begünstigt.
- 15 Ein derartiger doppelwandiger Aufbau ermöglicht eine Entkopplung der funktionellen Eigenschaften der Wandstruktur, wobei an die Schaufelaußenwand geringere Anforderung an die mechanische Stabilität gestellt werden können als an die Schaufelinnenwand. Die Schaufelinnenwand kann mithin, da sie nicht
- 20 unmittelbar einer Heißgasströmung ausgesetzt ist, mit einer größeren Wandstärke als die Schaufelaußenwand ausgeführt sein und im wesentlichen die mechanische Tragfunktion für die Turbinenschaufel übernehmen. Der Querschnitt des Hohlraumbereiches zwischen der Schaufelaußenwand und der Schaufelinnenwand ist vorzugsweise zur Ausbildung einer hohen Geschwindigkeit des Schutzgases möglichst gering ausgebildet und liegt insbesondere im Bereich der Wandstärke der Schaufelaußenwand.
- 25 Durch einen kleinen durchströmten Querschnitt des Hohlraumes und eine damit ausgebildete hohe Geschwindigkeit des Schutzgases wird eine besonders gute Schutzfilmeigenschaft erreicht, insbesondere auch eine effiziente Wärmeabfuhr durch das Schutzgas.
- 30 Die Turbinenschaufel ist bevorzugt ausgestaltet als Lauf- oder Leitschaufel einer Turbine, insbesondere einer Gas- oder Dampfturbine, in der Temperaturen von deutlich über 1000 °C
- 35

des im Betrieb die Turbinenschaufel umströmenden Heißgases auftreten. Der Schaufelblattbereich der Turbinenschaufel hat zweckmäßigerweise eine Höhe zwischen 5 cm und 50 cm. Die Wandstärke der Schaufelaußenwand und/oder der Schaufelinnenwand hat vorzugsweise einen minimalen Wert zwischen 0,5 mm und 5 mm.

Soweit die Aufgabe auf ein Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel gerichtet ist, welche sich entlang einer Hauptachse von einem Fußbereich über einen Schaufelblattbereich zu einem Kopfbereich erstreckt, wird sie erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß eine Mehrzahl von Kohlenstoffasern derart verarbeitet werden, daß die Kohlenstoffasern die Form der Turbinenschaufel bilden, wobei zwischen den Kohlenstoffasern Kunstharz angeordnet wird, das bei Erhitzung unter luftdichtem Verschuß in eine die Kohlenstoffasern umgebende Matrix aus reinem Kohlenstoff überführt wird.

Hierdurch ist eine Turbinenschaufel mit hinreichenden thermischen und mechanischen Festigkeitseigenschaften herstellbar, die sowohl in einem massiven als auch dünnwandigen Bereich eine im wesentlichen gleiche Werkstoffstruktur aufweist. Die Prozeßparameter des Verfahrens - z.B. das Wickeln und Kleben bei der Verarbeitung der Kohlenstoffasern, die Temperatur und Dauer des Erhitzungsvorganges sowie die Art des verwendeten Kunstharzes, etc. - sind der Größe und den gewünschten Festigkeitseigenschaften der Turbinenschaufel angepaßt.

Anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele werden die Turbinenschaufeln sowie das Verfahren zur Herstellung der Turbinenschaufel näher erläutert. Darin zeigen:

- FIG 1 eine Längsansicht einer Turbinenschaufel,  
FIG 2 eine Turbinenschaufel mit einer Schutzschicht im Querschnitt,



- FIG 3 eine Turbinenschaufel mit mindestens einem Hohlraum im Querschnitt,  
FIG 4 einen Abschnitt der Turbinenschaufel nach FIG 2 mit einem Hohlraum und Abstandshaltern,  
5 FIG 5 einen Ausschnitt einer Draufsicht auf die Turbinenschaufel, und  
FIG 6 schematisch eine Turbinenanlage.

Einander entsprechende Teile sind in allen Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.  
10 In FIG 1 ist eine sich entlang einer Hauptachse 2 von einem Fußbereich 4 über einem Schaufelblattbereich 6 zu einem Kopfbereich 8 erstreckende Turbinenschaufel 1, insbesondere eine Laufschaufel einer stationären Gasturbine, dargestellt. Der  
15 Schaufelblattbereich 6 weist eine Schaufelaußenwand 10, einen Anströmbereich 12 sowie einen Abströmbereich 14 auf. Die nicht näher dargestellte Gasturbine wird im Betrieb von einem heißen Arbeitsmedium 16 ("Heißgas") durchströmt, welches die Turbinenschaufel 1 in den Anströmbereich 12 anströmt und entlang der Schaufelaußenwand 10 bis zu dem Abströmbereich 14  
20 vorbeiströmt. Die Turbinenschaufel 1 ist aus kohlefaserverstärkten Kohlenstoff gebildet. Dieser Werkstoff ist ein sogenannter Faserverbundwerkstoff, der sowohl als Matrix als auch als Faser Kohlenstoff aufweist. Durch den Einsatz von kohlefaserverstärktem Kohlenstoff eignet sich die Turbinenschaufel  
25 1 aufgrund der besonders hohen mechanischen und thermischen Festigkeit für einen Einsatz bis zu Temperaturen von 2800 K.

Zur Erhöhung der Oxidationsbeständigkeit der aus kohlefaserverstärktem Werkstoff aufgebauten Turbinenschaufel 1 weist diese gemäß FIG 2 zumindest im Schaufelblattbereich 6 eine die Schaufelaußenwand 10 umgebende, insbesondere dabei auch die äußere Begrenzung der Schaufelaußenwand 10 bildende,  
30 Schutzschicht 18 auf. Als Schutzschicht 18 dient dabei eine Keramikschrift, die auf dem Basiswerkstoff, dem kohlefaserverstärkten Kohlenstoff, aufgebracht ist. Beispielsweise ist die Keramikschrift aus Siliziumcarbid gebildet. Siliziumcar-

bid eignet sich insbesondere aufgrund seiner guten Verarbeitbarkeit sowie aufgrund der guten Verbindungseigenschaften mit Kohlenstoff. Die Keramikschicht weist dabei an ihrer dünnsten Stelle einen Wert der Schichtdicke zwischen 0,5 und 5 mm auf.

5

In der FIG 3 ist eine alternative Ausgestaltung der Turbinenschaufel 1 zu sehen, welche anstelle einer festen Keramikschicht einen aus einem Schutzgas S gebildeten Schutzfilm zur Vermeidung von Oxidation aufweist. Dazu ist die Turbinenschaufel 1 zweischalig, insbesondere doppelwandig ausgeführt. Eine Zuführung 20 ist von einer Schaufelinnenwand 22 umgeben. Die Zuführung 20 erstreckt sich als Hohlraum entlang der Hauptachse 2 der Turbinenschaufel 1 (vergleiche Figur 1). Die Schaufelinnenwand 22 ist tragend ausgeführt und erstreckt sich ebenfalls entlang der Hauptachse 2. Sie kann wie herkömmliche Turbinenteile aus Metall gefertigt sein, besteht bevorzugt aber aus dem gleichen Werkstoff wie die Außenwand 10.

20 Das Schutzgas S wird über die Zuführung 20 durch den Fußbereich 4 in den Schaufelblattbereich 6 hineingeführt (siehe auch Figur 1). Das Schutzgas S ist insbesondere Erdgas, Wasserdampf oder Inertgas, welches von einer nicht dargestellten Zuführleitung der Turbinenschaufel 1 zugeführt wird. Der Schaufelinnenwand 22 liegt hierbei die Schaufelaußenwand 10 gegenüber. Zwischen der Schaufelaußenwand 10 und der Schaufelinnenwand 22 sind eine Mehrzahl von Hohlräumen 24 mit einer im wesentlichen flächigen, entlang der Schaufelwände 22, 10 sich erstreckenden Ausdehnung angeordnet. Jeder Hohlraum 24 ist über einen zugehörigen Einlaß 26 mit der Zuführung 20 für das Schutzgas S strömungstechnisch verbunden. Zur Bildung der Hohlräume 24 sind zwischen der Schaufelaußenwand 10 und der Schaufelinnenwand 22 eine Anzahl von Abstandshaltern 28 vorgesehen.

35

Das über den Einlaß 26 in den jeweils zugehörigen Hohlraum 24 einströmende Schutzgas S wird über eine Anzahl von Abführun-

gen 30 in der Schaufelaußenwand 10 in die Strömung des Arbeitsmediums 16 geführt. Die Abführungen 30 sind dabei hinsichtlich der Anzahl und der Form derart ausgeführt, daß das Schutzgas S unmittelbar an der Schaufelaußenwand 10 entlang strömt, wodurch ein anliegender Schutzfilm auf der Außenoberfläche der Schaufelaußenwand 10 gebildet wird.

FIG 4 zeigt - nach Entfernung der Außenwand 10 - einen Ausschnitt einer Turbinenschaufel 1 gemäß FIG 3 im Bereich der Hohlräume 24 mit mehreren Einlässen 26 sowie mehreren Abstandshaltern 28, die rasterartig angeordnet sind. Durch diese rasterartige Anordnung der Abstandshalter 28 sind die Hohlräume 24 entsprechend regelmäßig gebildet. Die rasterförmige Anordnung übernimmt die Abstützung der Schaufelaußenwand 10 gegenüber der Schaufelinnenwand 22.

FIG 5 zeigt einen Ausschnitt einer Draufsicht auf die Turbinenschaufel 1 mit einer Mehrzahl kreisrunder Abführungen 30. Die Abführungen 30 sind vorzugsweise Bohrungen ausgestaltet, die unmittelbar hintereinander angeordnet jeweils eine Reihe bilden, wobei die Reihen zueinander versetzt gegeneinander angeordnet sind. Hierdurch wird eine besonders effiziente und gleichmäßige Verteilung des aus den Abführungen 30 ausströmenden Schutzgases S erreicht. Benachbarte Reihen von Abführungen 30 sind dabei jeweils mit einem Abstand D1 voneinander angeordnet. Innerhalb einer Reihe haben die Abführungen 30 jeweils einen Abstand D2. Der Abstand D1 zwischen zwei benachbarten Reihen ist in etwa gleich oder etwas geringer als der Abstand D2 zwischen benachbarten Abführungen 30 innerhalb einer Reihe von Abführungen 30. Der Durchmesser der im Querschnitt kreisförmigen Abführungen 30 sowie das zu wählende Lochraster sind abhängig von dem zu erzielenden Massenstrom und Druck des Schutzgases S.

FIG 6 zeigt eine Turbinenanlage 32 mit einem Verdichter 34, einer Brennkammer 36 und einer mehrstufigen Turbine 38. Das in der Brennkammer 36 durch Verbrennung erzeugte heiße Ar-

beitsmedium, z.B. ein Heißgas, wird dabei in den jeweiligen Stufen der Turbine 38 entspannt. In Abhängigkeit von den in der Turbine 38 auftretenden Temperaturen weist die erste Turbinenstufe 40 mindestens eine Reihe von Turbinenschaufeln 1 auf, welche im wesentlichen aus kohlefaserverstärkten Werkstoff gebildet sind. In Abhängigkeit von den Temperatur- und Druckverhältnissen in der zweiten und dritten Turbinenstufe 42 bzw. 44 weisen diese sowohl Reihen von konventionellen Turbinenschaufeln - z.B. gegossene metallische Turbinenschaufel - als auch Turbinenschaufeln 1 aus kohlefaserverstärkten Kohlenstoff auf. Dabei werden Turbinenschaufeln 1 mit unterschiedlichen Schutzschichten 18 eingesetzt.

Die Vorteile der Erfindung bestehen insbesondere darin, daß durch eine aus kohlefaserverstärktem Kohlenstoff gebildete Turbinenschaufel 1, welche zumindest im Schaufelblattbereich 6 von einer Schutzschicht 18 umgeben ist, eine besonders hohe Turbineneintrittstemperatur ermöglicht wird. Darüber hinaus ist besonders vorteilhaft die Tatsache, daß eine Kühlung aufgrund der hohen Temperaturbeständigkeit des Werkstoffs der Turbinenschaufel 1 nicht mehr erforderlich ist. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß aufgrund des geringeren spezifischen Massen (Massendichte) der Turbinenschaufel 1 im Betrieb bei Rotation die rotierende Masse gegenüber einer herkömmlich gegossenen Turbinenschaufel um den Faktor 10 reduziert ist, wodurch die Festigkeit der Turbinenschaufel 1 deutlich verbessert ist. Ferner ermöglicht die Verwendung von kohlefaserverstärktem Kohlenstoff eine deutliche Reduzierung der Wärmedehnung der Turbinenschaufel 1, wodurch Spaltverluste vermieden, zumindest aber reduziert, sind. Bei dem Einsatz von Erdgas zum Aufbau der Schutzschicht 18 wird darüber hinaus durch das in dem Arbeitsraum der Gasturbine eingebrachte Erdgas eine Zwischenverbrennung oder Nachverbrennung ermöglicht, die zusätzlich eine Wirkungsgraderhöhung herbeiführt.

## Patentansprüche

1. Turbinenschaufel (1), welche sich entlang einer Hauptachse (2) von einem Fußbereich (4) über einen heißgasbeaufschlagbaren Schaufelblattbereich (6) zu einem Kopfbereich (8) erstreckt und im wesentlichen aus kohlefaserverstärktem Kohlenstoff gebildet ist, wobei zumindest der Schaufelblattbereich (6) eine Schaufelaußenwand (10) mit kohlefaserverstärktem Kohlenstoff aufweist, die von einer Schutzschicht (18) umgeben ist.  
10
2. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 1, bei der als Schutzschicht (18) mindestens eine Keramikschicht vorgesehen ist.
- 15 3. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 2, bei der die Keramikschicht Siliziumcarbid ist.
4. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 2 oder 3, bei der die Keramikschicht einen minimalen Wert in ihrer Schichtdicke  
20 zwischen 0,5 und 5 mm aufweist.
5. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 1, bei der die Schutzschicht (18) mindestens von einem gasförmigen Schutzfilm aus einem Schutzgas (S) gebildet ist.  
25
6. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 5, bei der zumindest im Schaufelblattbereich (6) eine Zuführung (20) für das Schutzgas (S) vorgesehen ist, die von einer Schaufelinnenwand (22) umgeben ist.  
30
7. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 5 oder 6, bei der als Schutzgas (S) Erdgas, Wasserdampf oder Inertgas vorgesehen ist.
- 35 8. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 6 oder 7, bei der zwischen der Schaufelaußenwand (10) und der Schaufelinnenwand (22) eine Mehrzahl von Hohlräumen (24) gebildet ist, die je-

weils über mindestens einen zugehörigen Einlaß (26) mit der Zuführung (20) strömungstechnisch verbunden sind.

5 9. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 8, bei der eine Mehrzahl von Abstandshaltern (28), die rasterartig angeordnet sind, zur Bildung der Hohlräume (24) vorgesehen ist.

10 10. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 9, bei der die Abstandshalter (28) aus kohlefaserverstärktem Kohlenstoff sind.

11. Turbinenschaufel (1) nach einem der Ansprüche 8 bis 10, bei der in der Schaufelaußenwand (10) eine Mehrzahl von Abführungen (30) vorgesehen sind, die das Schutzgas (S) aus jedem Hohlraum (24) nach außen führen.

15 12. Turbinenschaufel (1) nach einem der Ansprüche 5 bis 11, bei der die Wandstärke der Schaufelaußenwand (10) und/oder der Schaufelinnenwand (22) einen minimalen Wert zwischen 0,5 mm und 5 mm aufweisen bzw. aufweist.

20 13. Turbinenschaufel (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, ausgebildet als Laufschaufel oder Leitschaufel einer Turbine (38), insbesondere einer Gas- oder Dampfturbine.

25 14. Turbinenanlage (32) mit einem Verdichter (34), einer Brennkammer (36) und einer mehrstufigen Turbine (38), in deren jeweiligen Stufen (40, 42, 44) ein in der Brennkammer (36) erzeugtes Arbeitsmedium entspannbar ist, wobei mindestens eine Stufe (40, 42, 44) mindestens eine Reihe von Turbinenschaufeln (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 13 umfaßt.

30 15. Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel (1), welche sich entlang einer Hauptachse (2) von einem Fußbereich (4) über einen Schaufelblattbereich (6) zu einem Kopfbereich (8) erstreckt, wobei eine Mehrzahl von Kohlenstoffasern derart verarbeitet werden, daß die Kohlenstoffasern die Form der Turbinenschaufel (1) bilden, wobei zwischen den Kohlenstoffa-

sern Kunstharz angeordnet wird, das bei Erhitzung unter luftdichten Verschuß in eine die Kohlenstoffasern umgebende Matrix aus reinem Kohlenstoff überführt wird.

1/3

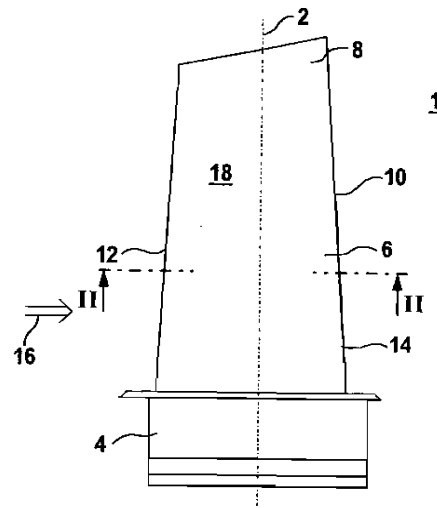


FIG 1

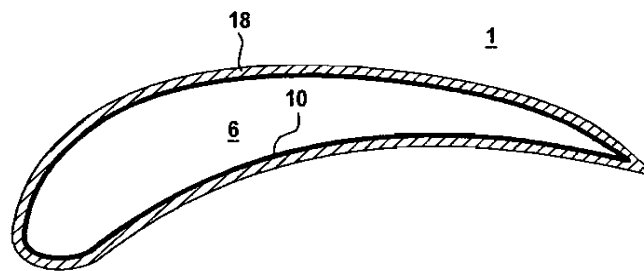


FIG 2



2/3

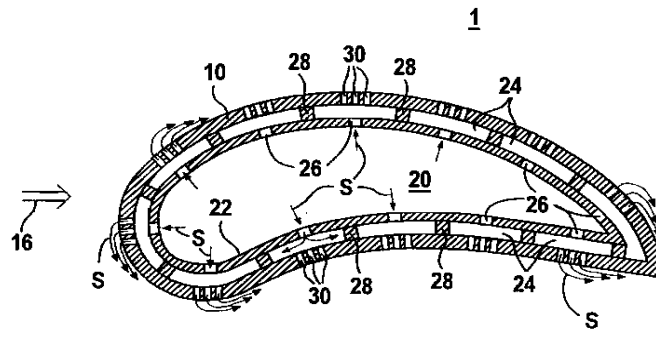


FIG 3

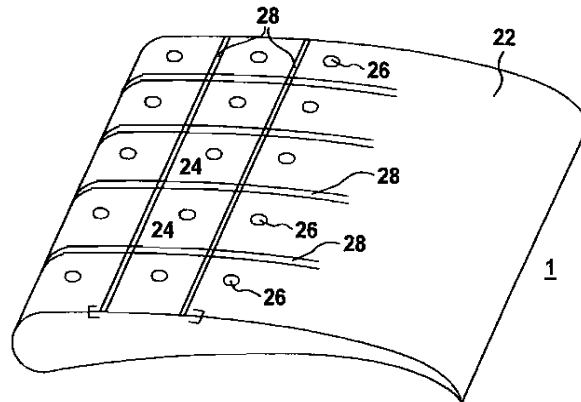


FIG 4

3/3

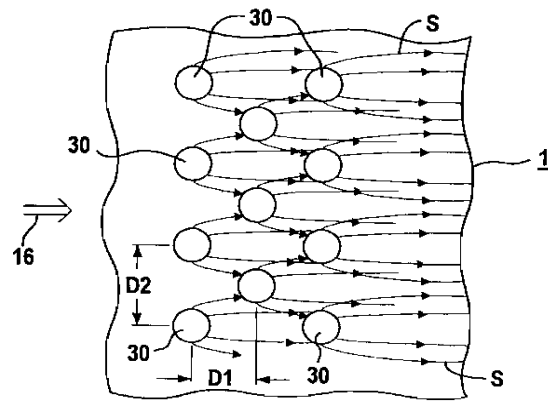


FIG 5

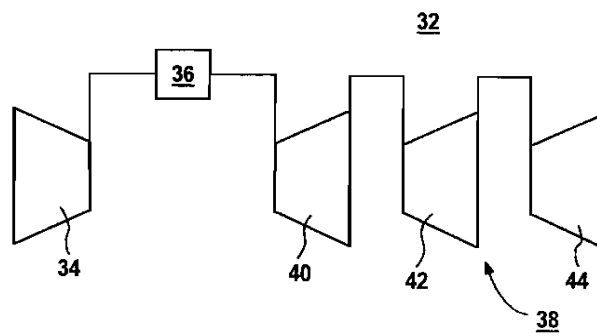


FIG 6

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inte. onal Application No  
PCT/DE 00/00734

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 F01D5/28

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F01D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 671 997 A (GALASSO FRANCIS S ET AL) 9 June 1987 (1987-06-09) column 1, line 64 - column 2, line 31	1-4, 13-15
Y	column 2, line 65 - column 3, line 11 column 5, line 45 - line 54 claim 1	1,5-12
Y	US 5 667 359 A (HUBER FRANK W ET AL) 16 September 1997 (1997-09-16) column 2, line 40 - line 67 figure 1	1,5,6, 8-12
Y	GB 2 293 415 A (HELLIWELL BRIAN JOHN) 27 March 1996 (1996-03-27) page 3, paragraph 4 claims 1,2	1,5,7
	-/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

3 July 2000

Date of making of the international search report

18/07/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.O. 5818 Patentkan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 051 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Steinhauser, U

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/DE 00/00734

## C. (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 657 404 A (HITACHI LTD) 14 June 1995 (1995-06-14) column 16, line 15 - line 58 figure 7 claims 1,21	1-4, 13, 14
A	US 5 462 800 A (YAMAZAKI HIRAKU ET AL) 31 October 1995 (1995-10-31) claim 1	1-15
A	US 5 403 153 A (GOETZE RAYMOND H) 4 April 1995 (1995-04-04) column 2, line 51 - column 3, line 43	1-15
A	US 5 702 232 A (MOORE ROBERT P) 30 December 1997 (1997-12-30) column 2, line 65 - column 3, line 42 figure 3	5,6,8-12

1

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
information on patent family members

Inter- national Application No  
PCT/DE 00/00734

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4671997 A	09-06-1987	NONE	
US 5667359 A	16-09-1997	DE 4003802 A JP 9296704 A NL 9000541 A NO 900805 A TR 23589 A	15-01-1998 18-11-1997 05-01-1998 10-06-1997 19-04-1990
GB 2293415 A	27-03-1996	NONE	
EP 0657404 A	14-06-1995	JP 7157384 A DE 69409074 D DE 69409074 T US 5545484 A	20-06-1995 23-04-1998 02-07-1998 13-08-1996
US 5462800 A	31-10-1995	JP 4149081 A JP 8013713 B	22-05-1992 14-02-1996
US 5403153 A	04-04-1995	NONE	
US 5702232 A	30-12-1997	NONE	

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

 Internationales Aktenzeichen  
 PCT/DE 00/00734

 A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 IPK 7 F01D5/28

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

 Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
 IPK 7 F01D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 671 997 A (GALASSO FRANCIS S ET AL) 9. Juni 1987 (1987-06-09) Spalte 1, Zeile 64 - Spalte 2, Zeile 31	1-4, 13-15
Y	Spalte 2, Zeile 65 - Spalte 3, Zeile 11 Spalte 5, Zeile 45 - Zeile 54 Anspruch 1	1,5-12
Y	US 5 667 359 A (HUBER FRANK W ET AL) 16. September 1997 (1997-09-16) Spalte 2, Zeile 40 - Zeile 67 Abbildung 1	1,5,6, 8-12
Y	GB 2 293 415 A (HELLIWELL BRIAN JOHN) 27. März 1996 (1996-03-27) Seite 3, Absatz 4 Ansprüche 1,2	1,5,7
	--- -/-	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam einzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

3. Juli 2000

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

18/07/2000

 Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 851 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Beauftragter

Steinhauser, U

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (Juli 1992)

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 657 404 A (HITACHI LTD) 14. Juni 1995 (1995-06-14) Spalte 16, Zeile 15 - Zeile 58 Abbildung 7 Ansprüche 1,21	1-4, 13, 14
A	US 5 462 800 A (YAMAZAKI HIRAKU ET AL) 31. Oktober 1995 (1995-10-31) Anspruch 1	1-15
A	US 5 403 153 A (GOETZE RAYMOND H) 4. April 1995 (1995-04-04) Spalte 2, Zeile 51 -Spalte 3, Zeile 43	1-15
A	US 5 702 232 A (MOORE ROBERT P) 30. Dezember 1997 (1997-12-30) Spalte 2, Zeile 65 -Spalte 3, Zeile 42 Abbildung 3	5,6,8-12

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**  
Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen  
PCT/DE 00/00734

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4671997 A	09-06-1987	KEINE	
US 5667359 A	16-09-1997	DE 4003802 A JP 9296704 A NL 9000541 A NO 900805 A TR 23589 A	15-01-1998 18-11-1997 05-01-1998 10-06-1997 19-04-1990
GB 2293415 A	27-03-1996	KEINE	
EP 0657404 A	14-06-1995	JP 7157384 A DE 69409074 D DE 69409074 T US 5545484 A	20-06-1995 23-04-1998 02-07-1998 13-08-1996
US 5462800 A	31-10-1995	JP 4149081 A JP 8013713 B	22-05-1992 14-02-1996
US 5403153 A	04-04-1995	KEINE	
US 5702232 A	30-12-1997	KEINE	